



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

**Siim Reimand**

**PUISTU STRUKTUURIINDEKSITE PRAKTILINE  
HINDAMINE PÜSIPROOVITÜKKIDEL**

**ASSESSMENT OF STAND STRUCTURAL INDICES ON FOREST  
PERMANENT SAMPLE PLOTS**

Bakalaureusetöö  
Metsanduse õppekava

Juhendajad: professor Henn Korjus, *PhD*  
nooremteadur Eneli Põldveer, *MSc*

Tartu 2019

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Bakalaureusetöö lühikokkuvõte	
Autor: Siim Reimand		Õppekava: metsandus	
Pealkiri: Puistu struktuuriindeksite praktiline hindamine püsiproovitükkidel			
Lehekülgi: 39	Jooniseid: 12	Tabeleid: 8	Lisasid: 0
Õppetool:	Metsakorralduse ja metsatööstuse õppetool		
Uurimisvaldkond:	Metsakorraldus		
Juhendaja(d):	Henn Korjus, Eneli Pöldveer		
Kaitsmiskoht ja aasta:	Tartu, 2019		
<p>Metsade kirjeldamisel kasutatakse üha sagedamini puistu struktuuri ja puude ruumilise paiknemise mustreid iseloomustavaid indekseid. Bakalaureusetöö eesmärk on looduses praktiliselt hinnata erinevaid puistu struktuuriindekseid, et koguda tavalistele takseerandmetele lisaks ka olulist ökoloogilist teavet puistu kohta. Kasutatud on lähimate naaberpuude suhtel põhinevaid struktuuriindekseid (puude liigilise segunemise, surnud puude segunemise ja surnud puude ruumilise paiknemise indekseid), mis peaksid kirjeldama keerulist puistu struktuuri mõnevõrra lihtsamal viisil. Uurimisobjektina kasutati Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükke.</p>			
<p>Bakalaureusetöö andmeid koguti viiest hariliku männi puistust endises Aakre metstkonnas Valgamaal ja viiest arukase puistust endises Pikknurme metstkonnas Jõgevamaal. Struktuuriindeksite praktilisel hindamisel kasutati kolme erinevat meetodikat, mida tulemuste põhjal uurimustöö käigus analüüsitakse ning võrreldakse omavahel. Proovitükke on aastal 2016 inventeeritud, seega on teada tegelikud puudele arvatud struktuuriindeksite väärtused, mis võimaldavad leida, millist meetodikat kasutades saab praktikas struktuuriindekseid kõige täpsemini hinnata.</p>			
<p>Käesolev bakalaureusetöö annab ülevaate uuritud indeksite kasutamise vajadusest ja võimalustest. Puistu loodusväärtuse üldise hinnangu andmisel jääb traditsioonilistest takseertunnustest väheseks. Töös kasutatud struktuuriindeksid annavad üsnagi hea ülevaate puistu struktuuris esinevatest mustritest: puude liigilist segunemist ning elusate ja surnud puude segunemist puistus. Hinnangud ei pruugi alati olla kõige täpsemad, kuid kindlasti annavad nad metsaomanikule väärtuslikku lisateavet. Antud uurimistöös kasutatud puistu struktuuriindeksite hindamise meetod on piisavalt lihtne, kiire ja odav, et seda saaks integreerida tavapärase metsainventeerimise praktikasse.</p>			
Märksõnad: metsatakseerimine, puude segunemise mustrid, liigiline mitmekesisus, surnud puud			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51006		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Siim Reimand		Speciality: forestry	
Title: Assessment of stand structural indices on forest permanent sample plots			
Pages: 39	Figures: 12	Tables: 8	Appendixes: 0
Chair:	Chair of Forest Management Planning and Wood Processing Technologies		
Field of research:	Forest management planning		
Supervisors:	Henn Korjus, Eneli Põldveer		
Place and date:	Tartu, 2019		
<p>Indices describing the structure of a stand and the spatial pattern of the trees are more frequently used to describe forest ecosystems. The aim of the thesis is to evaluate the structural indices in different forest stands in order to collect ecological information in addition to the standard forest inventory data. Structural indices based on the relationships of the nearest neighbouring trees (species mingling, deadwood distribution and deadwood mingling index) are used, which should describe the complex structure of the stand in the simpler way. The studied forest stands belonged to the Estonian Network of Forest Research Plots.</p> <p>The thesis data was collected from five Scots pine dominated stands in the former Aakre forest district in Valga county and from five silver birch dominated stands in the former Pikknurme forest district in Jõgeva county. Three different methods were used for the practical evaluation of stand structural indices, the methods were analysed and compared to each other. The sample plots have routinely been measured in 2016 last time, so the actual values of the structural indices were based on this measurement, so it was possible to evaluate what method can be used for assessment of stand structural indices more accurately.</p> <p>This study gives an overview about the usability of the studied indices. The standard forest inventory data is not enough for general assessment of the naturalness of the stand. The structural indices used in this research give a good overview of the patterns in the stand structure: species mingling and positioning patterns of live and dead trees in the stand. The results may not always be the most accurate, but they will anyway provide valuable additional information to the forest owner. The method of evaluating the stand indices used in this study is simple, fast and inexpensive, so it could be easily integrated into forest inventory practice.</p>			
Keywords: forest measurement, mingling patterns of trees, species diversity, dead trees			

## SISUKORD

SISSEJUHATUS .....	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE .....	6
1.1. Elurikkuse olulisus majandatud metsades .....	6
1.2. Surnud puidu säilitamine metsade majandamisel .....	8
1.3. Puistute struktuuri uurimine ja kirjeldamine .....	9
2. MATERJAL JA METOODIKA .....	11
2.1. Uuringu eesmärk .....	11
2.2. Proovitükkide kirjeldus .....	12
2.2.1. Männikud .....	12
2.2.2. Kaasikud .....	14
2.3. Uuritavad struktuuriindeksid .....	16
2.3.1. Liigilise segunemise indeks .....	17
2.3.3. Surnud puude segunemise indeks .....	18
2.3.2. Surnud puude ruumilise paiknemise indeks .....	20
3. TULEMUSED .....	22
3.1. Liigilise segunemise indeks .....	22
3.2. Surnud puude segunemise indeks .....	24
3.3. Surnud puude ruumilise paiknemise indeks .....	27
4. ARUTELU .....	30
SUMMARY .....	34
KASUTATUD KIRJANDUS .....	36

## SISSEJUHATUS

Mets on ökosüsteem, mis koosneb metsamaast, sellel kasvavast taimestikust ja seal elunevast loomastikust (Keskkonnaministeerium 2019). Eestis on 51,4% maismaast kaetud metsaga (Keskkonnaagentuur 2017), seega on väga oluline, et tunneksime ning praktiseeriksime õigeid viise metsade oskuslikuks ja jätkusuutlikuks majandamiseks. Intensiivne metsade majandamine on muutnud metsades toimuvate looduslike häiringute dünaamikat ning põhjustanud metsade liigilise koosseisu ja struktuuri lihtsustumist (Korjus 2002). Metsa oskuslikult majandades saab aga säilitada metsaökosüsteemide looduslikke funktsioone ja vähendada majandamisvõtete negatiivset mõju elurikkusele (Laarmann 2014).

Metsade kirjeldamisel kasutatakse lisaks puistu traditsioonilistele takseertunnustele üha enam erinevaid puistu struktuuri ja puude ruumilise paiknemise mustrit iseloomustavaid indekseid (Maleki ja Kiviste 2009). Käesoleva bakalaureusetöö eesmärk on uurida kolme struktuurindeksi – puude liigilise segunemise, surnud puude segunemise ja surnud puude ruumilise paiknemise indeksite praktilist hindamist Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustikku kuuluvatel proovitükkidel. Töös kasutatud indeksite põhjal saab vajalikku infot puude asetusest, puistu looduslikkusest, häiringutest ning mõneti annab ka teavet puistu ökoloogilisest mitmekesisusest. Töö eesmärk on välja selgitada, millist metoodikat kasutades peaksid antud indeksid olema praktiliseks kasutamiseks kõige sobivamad ning millist lisandväärtust võiks vaatlusalused indeksid traditsioonilistele puistu takseerandmetele lisaks anda. Struktuuriindekseid hinnati kümnel erineval püsiproovitükil kahe erineva peapuuliigiga puistutes – kaasikutes ja männikutes.

Töö autor tänab Keskkonnainvesteeringute Keskust, välitööde teostajaid ja kõiki teisi, kelle abil on Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükke aastate jooksul mõõdetud.

# **1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE**

## **1.1. Elurikkuse olulisus majandatud metsades**

Edukaks metsa majandamiseks on vajalik hästi mõista erinevate metsaökosüsteemide struktuuri ja selles esinevaid mustreid. Metsade struktuuri paremaks mõistmiseks ning kirjeldamiseks on kasutusele võetud erinevaid puistu struktuuri ja dünaamikat kirjeldavaid mudeleid ja indekseid. Struktuuriindekseid on mitmeid ning need annavad edasi erinevaid aspekte keerukatest metsa struktuuri mustritest. Metsa struktuuri võib määratleda puude positsioonide ruumilise jaotuse, puuliikide mitmekesisuse ja nende mõõtmete ruumilise paigutuse järgi (Gadow ja Hui 2001). Näiteks on metsaökosüsteemide looduslikkuse taastamise eesmärkideks sageli puistu struktuuri muutmine mitmekesisemaks ja looduslike elementide (joonis 1), sh surnud puude, lisamine ja tekitamine puistusse, sest surnud puud, puude suremisel tekkinud häilud, mitmekesine puude paiknemise muster, erineva suurusega puud ja erinevad liigid on elupaigaks paljudele organismidele (Laarmann 2014).

Erinevatel puuliikidel erinev vastupanuvõime puistutes esinevatele looduslikele häiringutele: näiteks männid taluvad torme ja pinnatulekahjusid ning lepad üleujutusi paremini kui teised liigid. Liigiline mitmekesisus metsades tagab parema vastupanuvõime ebasobivateks ajutisteks kasvutingimusteks. Liigirikas mets taastub häiringutest kiiremini ning suudab paremini säilitada stabiilsust ja püsikindlust. (Jõgiste jt 2008)





**Joonis 1.** Loodusmets – loodusmetsas esinevad olulised puistu struktuurielemendid nagu surnud puud, häilud, eri liiki puud, järelkasvu esinemine. Allikas: Eesti Maaülikooli metsakorralduse ja metsatööstuse õppetooli fotokogu.

Erinevate puuliikide olemasolust sõltub suurel määral ka teiste organismide osatähtsus. Segapuistud on reeglina liigirikkamad kui puhtpuistud, sest iga puuliigiga on seotud sellele spetsialiseerunud organismid (Etverk jt 2000). Metsade majandamisel kujundatakse ja rajatakse peamiselt ühe puuliigi poolt domineeritud puistuid ja seepärast ei sobi majandusmetsad sageli elupaigaks kõrge elupaiganõudlikkusega organismidele. Looduslikud metsad (eelkõige kaitsealadel) on nõudlike organismide turvaalaks (Jõgiste jt 2008). Elurikkuse säilitamine on väga oluline ja aktuaalne teema, mida seostatakse aina enam ka kliima soojenemisega. Metsaökosüsteemide loodusliku struktuuri ja protsesside analüüs võimaldab vähendada metsade intensiivsest majandamisest tingitud riske (Jõgiste jt 2008).

## **1.2. Surnud puidu säilitamine metsade majandamisel**

„Pole midagi elusamat kui surnud puu,“ ütleb Anneli Palo oma raamatus „Eesti metsad“ (Palo 2016). Surnud ja lamavad puud on tähtsaks elupaigaks, toidulauaks ja varjupaigaks paljudele organismidele. Eesti metsades elab üle 10 000 liigi selgrootuid (valdavalt putukaid), üle 2500 liigi seeni ning sadu samblaliike; neile lisandub umbes 500 liiki samblikke, enam kui 450 liiki soontaimi ja umbes 150 liiki selgroogseid loomi (Etverk jt 2000). Metsade majandamine mõjutab oluliselt bioloogilist mitmekesisust. Mida rohkem on erinevat liiki, erivanuselisi ja erineva jämedusega surnud puid, seda mitmekesisem on surevale ja kõdunenud puidule kohastunud elustik (Palo 2016). Tulundusmetsades esineb enamasti jämedamat surnud puitu väga vähe, mistõttu on palju liigid majandusmetsades haruldaseks muutunud või toidupuuduse tõttu sootuks hävinud (Keppart 2006). Metsa hooldades ja eemaldades sealt vanad ja surnud puud võetakse ühtlasi ära ka mitmete organismide elu võimalikkus puistus. Uuringute põhjal on meie metsades elustiku säilitamiseks vajalik sureva ja surnud puidu kogus olema keskmiselt 20 m<sup>3</sup> hektari kohta (Palo 2016).

Surnud puit metsas toimib toiteainetebaasina, mis tagab toitainete ringluse puistus pikaks ajaks, aineringe panevad toimima puitu lagundavad bakterid ja seened. Kui metsas pole surnud puitu, kaovad ka lagundajad, mis põhjustab edasise surnud puidu väga aeglase lagunemise (Jõgiste jt 2008). Puistute struktuuri analüüsimine surnud puid vaadeldes võimaldab paremini aru saada metsas toimivatest protsessidest. Surnud puude ruumiline paiknemine puistus, kogus, suremise kiirus ja põhjused on puistu looduslikkusega tihedas seoses (Laarmann jt 2009). Puude suremise põhjused erinevat tüüpi puistutes on väga erinevad. Looduslikus seisundis puistutes on surevad puud paljudel erinevatel põhjustel ja surnud puude paiknemine puistus rohkem hajutatud ning tavaliselt ka surnud puidu kogus suurem võrreldes majandusmetsadega (Laarmann 2014).



### **1.3. Puistute struktuuri uurimine ja kirjeldamine**

Metsade kirjeldamisel kasutatakse lisaks puistu traditsioonilistele takseertunnustele üha enam erinevaid puistu struktuuri ja puude ruumilise paiknemise mustrit iseloomustavaid indekseid (Maleki ja Kiviste 2009). Koosluste struktuuri saab iseloomustada paljude erinevate komponentide abil – näiteks puude kõrguse, jämeduse ja vanuselise jaotuse abil, liigilise mitmekesisuse, koosseisu ja arvukuse, maha kukkunud ja surnud puude ning puude ruumilise paigutuse, põõsastiku tiheduse ja muude puistut iseloomustavate tunnuste abil (Burton ja Macdonald 2011). Igale taimekooslusele sh metsale on omane individuaalne struktuur, mis väljendub ökosüsteemis esinevate objektide nii otseses kui ka suhtelises ruumilises paiknemises (McElhinny jt 2005 ref Mõistus 2013). Metsade struktuur võib olla homogeenne ja/või heterogeenne erinevate tunnuste osas (joonis 2). Taimekoosluste kolmemõõtmeline struktuur, sh taimede paiknemine horisontaalsel pinnal ja paigutuse muutumine aja jooksul on kujunenud ökoloogiliste uurimuste loomulikuks osaks (Richardson ja Moskal 2011 ref Mõistus 2013).

Igat metsaosa iseloomustab tema struktuur ja ökosüsteemsed funktsioonid ning see, kuidas struktuur ja funktsioonid ajas ja ruumis muutuvad, mis omakorda peegeldab erinevaid metsas toimuvaid ökoloogilisi protsesse. Metsaökosüsteemide struktuurimustrite paremaks mõistmiseks on vajalik puistus kasvavate puude ruumilise paiknemise kirjeldust. Oluliseks komponendiks, mis näitab puistu horisontaalse ruumilise struktuuri keerukust ja mitmekesisust, on erinevat liiki puude, erinevate mõõtmetega puude ja surnud puude suhteline paiknemine puistus (Põldveer jt 2019). Lisaks puistu horisontaalsele struktuurile on oluline ka puistu vertikaalne struktuur, näiteks on puistu rindelisisus tähtis komponent metsakahjustuste riski hindamisel, sh tuule- ning putukkahjustuste ennetamisel ja hindamisel ning potentsiaalse metsatulekahju ohu ja iseloomu määramisel (Morsdorf jt 2010 ref Mõistus 2013). Kuid sageli iseloomustab puistu horisontaalne struktuur kaudselt ka vertikaalset struktuuri, sest peenema diameetriga puud on puistus üldjuhul ka madalamad ning jämedamad puud kõrgemad. Struktuurimustrite väljaselgitamine võimaldab iseloomustada uuritava ökosüsteemi tingimusi elupaigana.





**Joonis 2.** Homogeense liigilise struktuuriga puistu (A) ja heterogeense liigilise struktuuriga puistu (B). Allikas: Eesti Maaülikooli metsakorralduse ja metsatööstuse õppetooli fotokogu.



## **2. MATERJAL JA METOODIKA**

### **2.1. Uuringu eesmärk**

Käesoleva uurimistöö käigus võeti vaatluse alla puistute struktuuriindeksid kümnel erineval Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükil (edaspidi proovitükil). Kiviste ja Hordo (2002) sõnul on kasvukäigu püsiproovitükkide võrgustiku rajamise peamiseks eesmärgiks luua süsteem Eesti puistute kasvumudelite koostamiseks vajalike andmete saamiseks ning proovitükke rajatakse paljudel eesmärkidel: metsaressursi statistiline inventeerimine; hooldusraiete, kuivendamise, väetamise ja teiste metsamajanduslike tegevuste mõju hindamine; raielankide puiduressursi mahuline ja rahaline hindamine; tööstussaaste mõju hindamine jne. Sõltuvalt proovitükkide rajamise eesmärgist võivad olla erinevad nende suurus, paigutus ja mõõtmismeetodid. Viimase sajandi jooksul rajatud proovitükkides on klupidud kõigi puude rinnasdiameetrid ja mõõdetud valikuliselt teatud arv mudelpuude diameeter-kõrgus paare ning määratud ka metsak kasvukohatüüp ja hinnatud metsaelementide vanused (Kangur jt 2013). Proovitükid on 15–25-meetrise raadiusega ning ringikujulised, proovitükkidel mõõdetakse kõik üle 4 cm diameetriga puud (Kiviste jt 2015).

Käesoleva töö eesmärgiks oli kolme erineva struktuuriindeksi praktiline hindamine proovitükkidel kasvavate puude mõõtmise/hindamise teel. Uuriti liigilise segunemise, surnud puude segunemise ja surnud puude ruumilise paiknemise indeksit. Liigilise segunemise ja surnud puude ruumilise paiknemise indeksi praktiliseks hindamiseks kasutati kolme erinevat objektpuude valiku meetodit: 1) vaadeldes ainult keskmise diameetriga puid; 2) vaadeldes ainult peapuuliigi puid; 3) vaadeldes ainult kaaspuuliigi puid. Kolmas nimetatud meetod annab vastandtulemuse kahe esimese meetodi suhtes. Seetõttu, et see indeks oleks teistega võrreldav, tehakse teisendus 1 – indeksi väärtus. Surnud puude ruumilise paiknemise indeksi puhul võeti vaatluse alla kõik proovitükil paiknevad surnud puud. Töö eesmärk on hinnata struktuuriindekseid metsas välitööde käigus erinevaid meetodeid kasutades ja leida parim metsakorralduse praktikas kasutatav viis nimetatud indeksite määramiseks.

## **2.2. Proovitükkide kirjeldus**

Välitöödel võeti okaspuu ja lehtpuu peapuuliigiga proovitükke vaatluse alla võrdselt – praktilised hindamised tehti viies männikus ja viies kaasikus. Kõik mõõdetud tulemused on saadud majandatud metsadest, viis nendest on männi (*Pinus sylvestris*) peapuuliigiga puistut Aakre metskonnast Valgamaal ning viis arukase (*Betula pendula*) peapuuliigiga puistut endises Pikknurme metskonnas Jõgevamaal. Kõik vaatluse all olevatel proovitükkidel kasvavad puud olid aastal 2016 Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitükkide kordusmõõtmise käigus takseeritud. Antud bakalaureusetöö käigus tehtud välitööde tulemusi kasutades saab võrrelda erinevate mõõtmismetoodite sobivust.

### **2.2.1. Männikud**

Majandatavatele metsadele iseloomulikult esines vaatlusalustel proovitükkidel liigilist varieeruvust, järelkasvu ja surnud puid vähe. Mõnel puul esines põdrakahjustusi, kuid üldiselt olid puistud heas sanitaarses seisus (joonis 2).



**Joonis 2.** Uuritud proovitükkide üldilme: a) proovitükk 526 ja b) proovitükk 523. Allikas: autori foto.



**Tabel 1.** Uuritud männikute üldandmed.

Tunnus	Proovitüki nr				
	500	519	523	526	527
<b>Proovitüki pindala (ha)</b>	0,126	0,196	0,071	0,071	0,212
<b>Täius (%)</b>	77,2	65,9	98,2	95,8	88,0
<b>Keskmine puude vanus (a)</b>	55	66	35	45	88
<b>Keskmine puude kõrgus (m)</b>	23,5	22,2	16,0	20,7	28,5
<b>Keskmine puude diameeter (cm)</b>	20,6	21,1	15,5	17,3	31,6
<b>Peapuuliigi protsent puistus (%)</b>	99,2	91,6	88,3	99,2	100,0
<b>Kasvukohatüüp</b>	pohla	mustika	pohla	pohla	pohla

Männiku proovitükid (tabel 1) on 15-25 meetri raadiusega ning seal esineb valdavalt pohla kasvukohatüüp. Kõik puistud on erineva keskmise vanusega, varieerudes 35 aastast kuni 88 aastaseni, seega esines kõigil proovitükkidel ka erinev keskmise puude kõrgus ja diameeter. Vaatlusalused männikud on hea täiusega ning peapuuliigi ülekaal on igas männikus selgelt väljendunud.

### 2.2.2. Kaasikud

Kaasikud on enamjaolt liigiliselt mitmekesised ning järelkasvu leidis palju (joonis 3). Puistud asuvad vesistes alades, esines looduslikke häiringuid ning mahalangenud puid ja tüükaid leidis võrdlemisi palju. Saadud andmeid mõjutas ka proovitükki 568 läbiv kraav ning proovitüki 572 osaline raie.





**Joonis 3.** Piltidel on näidatud kahte probleemsemat kaasiku proovitükki: a) proovitükk 546 ja b) proovitükk 568. Allikas: autori foto.

**Tabel 2.** Uuritud kaasikute üldandmed.

Tunnus	Proovitüki nr				
	568	546	547	551	572
<b>Proovitüki pindala (ha)</b>	0,126	0,126	0,091	0,126	0,071
<b>Täius (%)</b>	72,6	91,7	76,1	80,8	81,9
<b>Keskmine puude vanus (a)</b>	59	60	65	60	42
<b>Keskmine puude kõrgus (m)</b>	24,1	23,4	29	25,6	17,6
<b>Keskmine puude diameeter (cm)</b>	23,4	22,7	22,3	21,7	16,8
<b>Peapuuliigi protsent puistus (%)</b>	65,7	50,5	93,5	51,5	38,0
<b>Kasvukohatüüp</b>	naadi	naadi	naadi	naadi	naadi

Kaasiku proovitükid (tabel 2) on 15-20 meetri raadiusega ning kõigis esines naadi kasvukohatüüp. Valdavalt olid puistud umbes 60 aasta vanused ja keskmiselt 24 meetri kõrgused diameetriga 22 cm. Kaasikud olid enamjaolt üpris hea täiusega ja liigiliselt mitmekesised.

### 2.3. Uuritavad struktuuriindeksid

Metsa takseerimise käigus vaadatakse puistu struktuuri iseloomustavate näitajatena selliseid tunnuseid või näitajaid, mis iseloomustavad puistu koosseisu ning erinevate puistuelementide esinemist puistus ja näiteks ka keskmist vanust. Lisainformatsiooni annaksid puistute struktuuri kohta nii struktuuriindeksite keskmised näitajad kui ka sagedustabelid, kus on välja toodud protsendiliselt liigilise segunemise indeksite väärtused puudel. Nii keskmised kui sagedustabelid näitavad, kas puude liigid puistus on segunenud hästi, mõõdukalt või halvasti. Näiteks, kui on teada tavalise koosseisukordaja alusel, et puistus esineb esimeses rindes 60% mändi ja 40% kuuske, siis puudub täpsem arusaam sellest, kuidas need puud üksteise suhtes paikevad. Parema ülevaate annab liigilise segunemise indeksi vaatlemine, mis täpsustab, kas

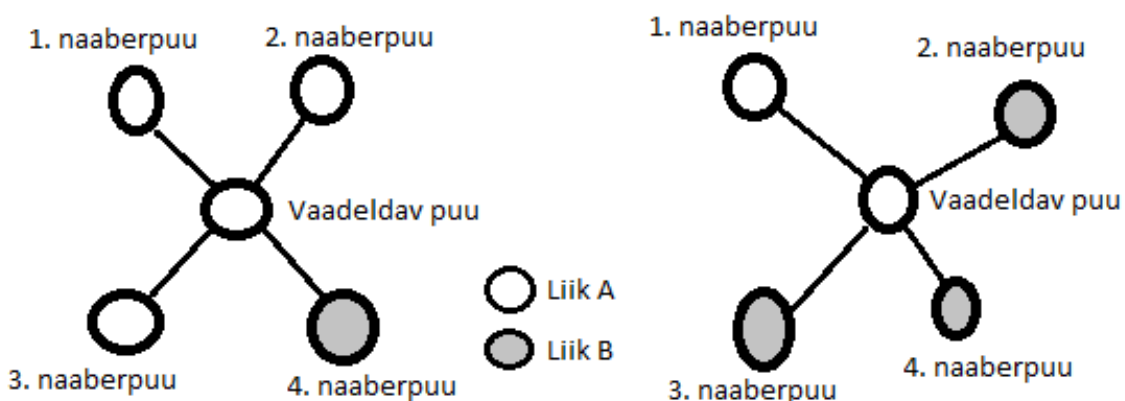


puuliigid on hästi segunenud või pigem paiknevad kuused ja männid omavahel puistus grupiti koos. Surnud puude puhul ei hinnata samuti surnud puude mahtu puistus metsataakseerimise käigus, kuid sellised struktuuriindeksite väärtused annaksid parema ülevaate, kui sageli leiab kas elusate puude ümbruses puistust surnud puid (surnud puude segunemis indeks) või kas surnud puud on puistus kokku koondunud (surnud puude ruumilise paiknemise indeks) ja moodustub surnud puude häile.

### 2.3.1. Liigilise segunemise indeks

Liigilise segunemise indeks (species mingling index; Gadow 1993) on puistu struktuuri hindamisel üks olulisemaid indekseid, mida vaadelda. Liigiline mitmekesisus on bioloogilise mitmekesisuse oluline ja enim käsitletav aspekt (Kimmins 2004). Indeks kirjeldab, kuidas erinevad puuliigid puistus paiknevad – kas puuliigid on hästi segunenud, paiknevad grupiti või on tegemist sootuks puhtpuistuga (Pöldveer jt 2019). Ruumiline segunemine on seotud spetsiifiliselt ökosüsteemide mikrostruktuuriga ja naabrussuhetega, millel on oluline roll taimeökoloogias (Pommerening 2017).

Proovitükil võetakse vaatluse alla üks kindel puu (objektpuu) ning selle lähimad neli naaberpuud ning vaadeldakse, kas naaberpuud on objektpuuga samast või erinevast liigist (joonis 4). Objektpuule on võimalik saada viis erinevat indeksi väärtust ning kirjeldada, kas puude grupis toimub tugev või nõrk liigiline segunemine (tabel 3).



**Joonis 4.** Näide liigilise segunemise indeksi kohta, halli sisuga kujud on joonisel teisest liigist kui objektpuu. Vasaku joonise indeksi väärtus on 0,25, kuna üks naaberpuu on teisest liigist ja parempoolse joonise väärtus on 0,75, kuna neljast naaberpuust kolm on teisest liigist.

**Tabel 3.** Liigilise segunemise indeksi võimalikud väärtused koos kirjeldusega.

<b>Indeksi väärtus</b>	<b>Vaadeldava puu naaberpuude liigi kirjeldus</b>	<b>Väärtuse tähendus</b>
<b>0.00</b>	Kõik neli naaberpuud on samast liigist, kui vaadeldav puu	Liikide segunemist ei toimu
<b>0.25</b>	kolm puud on samast liigist, kui vaadeldav puu	Nõrk segunemine
<b>0.50</b>	Kaks puud on samast liigist, kui vaadeldav puu	Mõõdukas segunemine
<b>0.75</b>	Üks puu on samast liigist, kui vaadeldav puu	Tugev segunemine
<b>1.00</b>	Kõik neli puud on teisest liigist, kui vaadeldav puu	Väga tugev segunemine

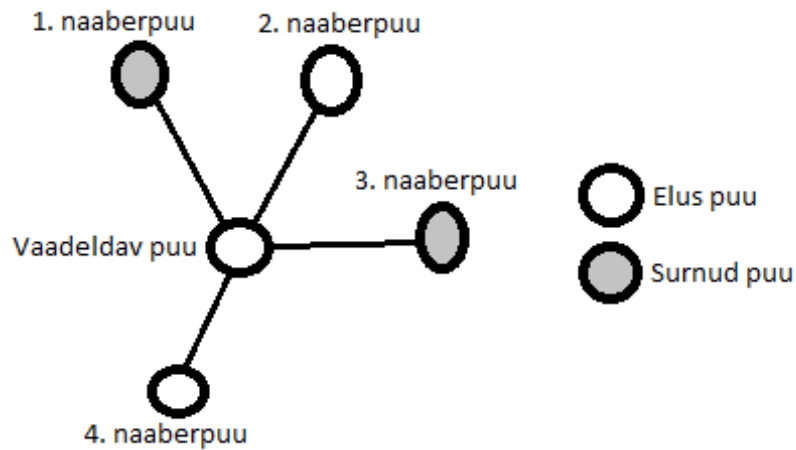
Liigilise segunemise indeksi arvutamise valem on järgmine:

$$M_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k v_j \quad (1)$$

Kus  $v_j = 1$  kui naaberpuu  $j$  on teisest liigist ja  $0$  kui naaberpuu  $j$  on samast liigist.

### 2.3.3. Surnud puude segunemise indeks

Surnud puude segunemise indeksi (deadwood distribution index; Põldveer jt 2019) hindamine on analoogne eelmisele indeksile, kuid vaatluse alla objektpuudeks võetakse ainult elusad puud ning vaadatakse, kas objektpuu naabrid on omakorda elus või surnud (joonis 5). Surnud puude segunemise indeks näitab, kui tihti on elus objektpuu nelja naaberpuu seas surnuid puid, mis annab parema ülevaate proovitüki surnud puude segunemisest, kusjuures madal indeksi väärtus näitab vähest surnud puude kogust, kõrge väärtus rohkem surnud puude kogust (Põldveer jt 2019).



**Joonis 5.** Näide surnud puude segunemise indeksi kohta. Vaatluse alla on võetud elus puu ja tema neli lähimat naaberpuud, joonisel oleva indeksi väärtus on 0,50.

Proovitükil võetakse vaatluse alla üks kindel elus puu ning selle lähimad neli naaberpuud ning vaadeldakse, kas naaberpuud on objektpuu puuga samast või eri liigist (joonis 5). Vaadeldavale objektpuule on võimalik saada viis erinevat indeksi väärtust ning kirjeldada, kas grupis olevate puude seas surnud puid ei esine või esineb väga kõrge suremus (tabel 4).

**Tabel 4.** Surnud puude segunemise indeksi võimalikud väärtused koos kirjeldusega.

Indeksi väärtus	Vaadeldava <u>elus</u> puu naaberpuude kirjeldus	Väärtuse tähendus
<b>0.00</b>	Kõik neli naaberpuud on elus	Suremust ei esine
<b>0.25</b>	Nelja lähima naaberpuu seas on üks surnud puu	Nõrk suremus
<b>0.50</b>	Nelja lähima naaberpuu seas on kaks surnud puud	Mõõdukas suremus
<b>0.75</b>	Nelja lähima naaberpuu seas on kolm surnud puud	Kõrge suremus
<b>1.00</b>	Kõik neli naaberpuud on surnud	Väga kõrge suremus

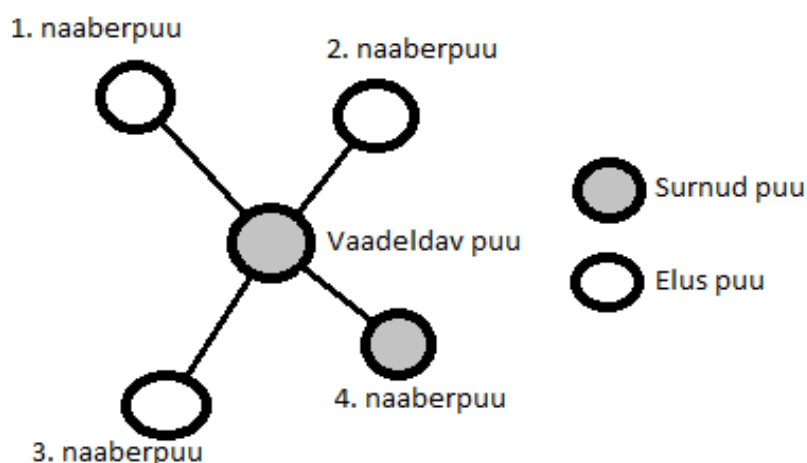
Surnud puude segunemise indeksit arvutatakse valemiga:

$$D_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k v_j \quad (2)$$

Kus  $v_j = 1$  kui naaberpuu  $j$  on surnud ja 0 kui naaberpuu  $j$  on elus.

### 2.3.2. Surnud puude ruumilise paiknemise indeks

Surnud puude ruumilise paiknemise indeksi (deadwood mingling index; Laarmann jt 2009) vaatlusel võetakse aluseks eelnevatele sarnane mõõteviis, kuid seekord on objektpuuks surnud puu ja tema naaberpuud (joonis 6). Indeksi määramiseks valitakse välja surnud objektpuu ja selle neli lähimat naaberpuud. Mõõtmisi tehakse selleks, et teada saada surnud puude ruumiline paiknemine puistus. Mida suurem on indeks, seda rohkem on surnuid puid ning seda enam on need gruppidesse koondunud (Laarmann jt 2009; Pöldveer jt 2019). Objektpuule on võimalik on saada viis erinevat indeksi väärtust, mis näitavad, kas naaberpuude grupis esineb madalat või kõrget suremust (tabel 5).



**Joonis 6.** Näide. Vaatluse alla on võetud surnud puu ning tema neli lähimat naaberpuud, joonisel oleva indeksi väärtus on 0,25.

**Tabel 5.** Surnud puude ruumilise paiknemise indeksi võimalikud väärtused koos kirjeldusega.

Indeksi väärtus	Vaadeldava <u>surnud</u> puu naaberpuude kirjeldus	Väärtuse tähendus
0.00	Kõik neli naaberpuud on elus	Suremust ei esine
0.25	Nelja lähima naaberpuu seas on üks surnud puu	Madal suremus
0.50	Nelja lähima naaberpuu seas on kaks surnud puud	Mõõdukas suremus
0.75	Nelja lähima naaberpuu seas on kolm surnud puud	Kõrge suremus
1.00	Kõik neli naaberpuud on surnud	Väga kõrge suremus, surnud puude grupilisis



Surnud puude ruumilise paiknemise valemit arvutatakse järgmise valemiga:

$$DM_i = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k v_j \quad (3)$$

Kus  $v_j = 1$  kui naaberpuu  $j$  on surnud ja  $0$  kui naaberpuu  $j$  on elus.

### **3. TULEMUSED**

#### **3.1. Liigilise segunemise indeks**

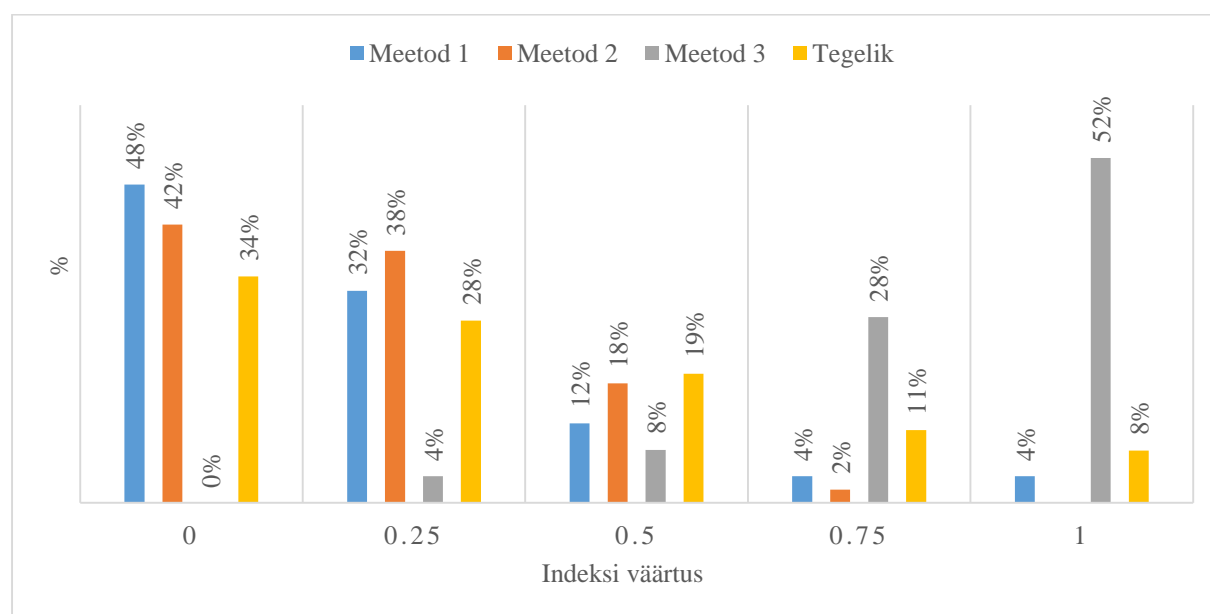
Liigilise segunemise indeksite proovitükkidel praktiliselt hinnatud väärtused kolme erinevat meetodit kasutades (1) vaadeldes diameetrilt keskmist puud ja selle nelja lähimat naaberpuud; 2) vaadeldes ainult peapuuliigi puud ja selle nelja lähimat naabrit; 3) vaadeldes kaaspuuliigi puud ning selle nelja lähimat naabrit, kusjuures viimase meetodi puhul tehakse teisendus: 1 – indeksi väärtus, et indeks oleks teistega võrreldav) on esitatud tabelis 6. tabelis on välja toodud proovitükkide liigilise segunemise indeksi kolme meetoodika abil saadud aritmeetilised keskmised väärtused ning varasemalt mõõdetud andmeid kasutades saadud kõigile proovitükil paiknevatele puudele arvutatud indeksite väärtuste aritmeetiline keskmine männikutes ja kaasikutes. Selgub, et männikutes indeksite hindamisel on kõik (v.a. üks) saadud indeksi väärtused väiksemad kui tegelik tulemus. Ainult ühe proovitükil (number 523) kahe esimese meetodi tulemused on väga sarnased tegelikule tulemusele.

Kaasikute liigilise segunemise indeksi hinnagute väärtused erinevate meetodite puhul on võrreldes männikute tulemustega palju ligilähedasemad. Saadud tulemuste põhjal võiks välistada kaaspuuliiki vaadeldava (meetod 3) meetodi, kuna antud meetodi abil saadud hinnagud on tegelikega võrreldes väga erinevad. Esimese kahe meetodi tulemused on samuti kohati erinevad, kuid üldpildis annavad võrdlemisi hea ülevaate liigilise segunemise muistritest puistus, kui tulemusi tegelike indeksite väärtustega võrrelda.

Lisaks aritmeetilisele keskmisele, vaadeldi liigilise segunemise indeksi väärtuse esinemise sagedust puuliikide lõikes, joonisel 7 on toodud sagedustabelid männikutest saadud andmetele tuginedes ja joonisel 8 kaasikutes saadud andmetele tuginedes.

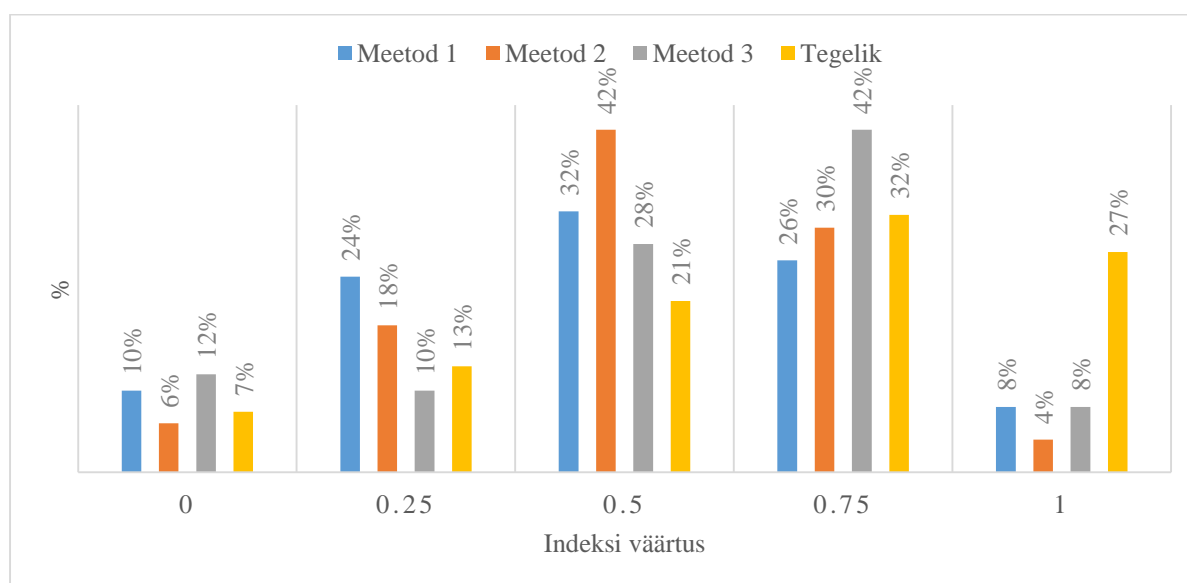
**Tabel 6.** Praktiliselt hinnatud liigilise segunemise indeksid männikutes ja kaasikutes proovitükkide lõikes.

Proovitükk nr.	Tegelik	Meetod 1	Meetod 2	Meetod 3
Männikud				
500	0,56	0,43	0,40	0,20
519	0,29	0,23	0,18	0,23
523	0,31	0,30	0,30	0,15
526	0,16	0,03	0,05	0,43
527	0,21	0,08	0,08	0,10
Aritmeetiline keskmine	0,30	0,21	0,20	0,22
Kaasikud				
568	0,51	0,58	0,55	0,40
546	0,40	0,25	0,28	0,50
547	0,57	0,48	0,43	0,43
551	0,65	0,60	0,65	0,30
572	0,56	0,58	0,70	0,48
Aritmeetiline keskmine	0,54	0,50	0,52	0,42



**Joonis 7.** Liigilise segunemise indeksi väärtuste esinemise sagedus (%) erinevate meetodite korral männikutes.

Männikute puhul on näha, et tegeliku liigilise segunemise indeksi puhul, mis kõikidele proovitükil kasvavate puude põhjal arvutati, on 34% puudest naaberpuud objektipuuga võrreldes samast liigist ning 8% puude puhul kõik naaberpuud objektipuuga võrreldes eri liigist. Kõige sarnasemad indeksi väärtuste esinemise sagedused võrreldes tegelike tulemustega tunduvad olevat meetod 2 puhul saadud tulemused, kuid selle meetodi puhul ei leitud ühtegi objektipuud, kus naaberpuud oleksid eri liigist.



**Joonis 8.** Liigilise segunemise indeksi väärtuste esinemise sagedus (%) erinevate meetodite korral kaasikutes.

Kaasikute puhul on näha, et 7% juhtudest olid kõik naaberpuud objektipuuga samast liigist ning 27% juhtudest eri liigist. Kaasikute puhul tundub, et meetodiga 2 saadud tulemused on veidi lähemal tegelikele tulemustele, kui meetodiga 1 saadud tulemused.

### 3.2. Surnud puude segunemise indeks

Tabelis 7 on välja toodud proovitükkide surnud puude segunemise indeksi tulemuste aritmeetilisi keskmisi, mis on saadud kolme erinevat meetodit kasutades (1) vaadeldes diameetrilt keskmist puud ja selle nelja lähimat naaberpuud; 2) vaadeldes ainult peapuuliigi puud ja selle nelja lähimat naabrit; 3) vaadeldes kaaspuuliigi puud ning selle nelja lähimat

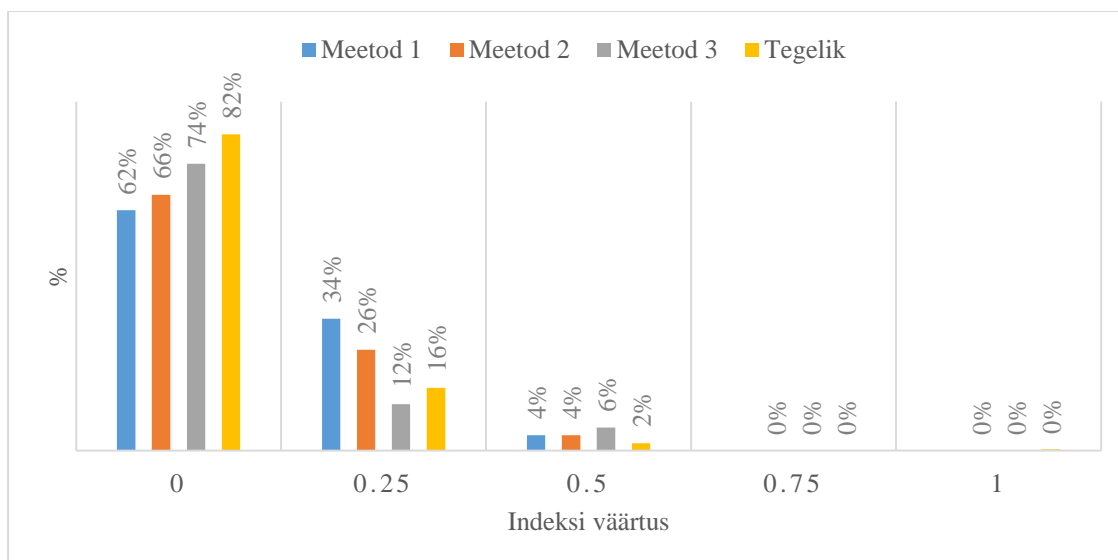
naabrit) ning varasemalt mõõdetud andmetel saadud proovitüki kõigi puude arvutatud indeksite tulemuste aritmeetilist keskmist männikutes ja kaasikutes.

**Tabel 7.** Praktiliselt hinnatud surnud puude segunemise indeksid männikutes ja kaasikutes proovitükkide lõikes.

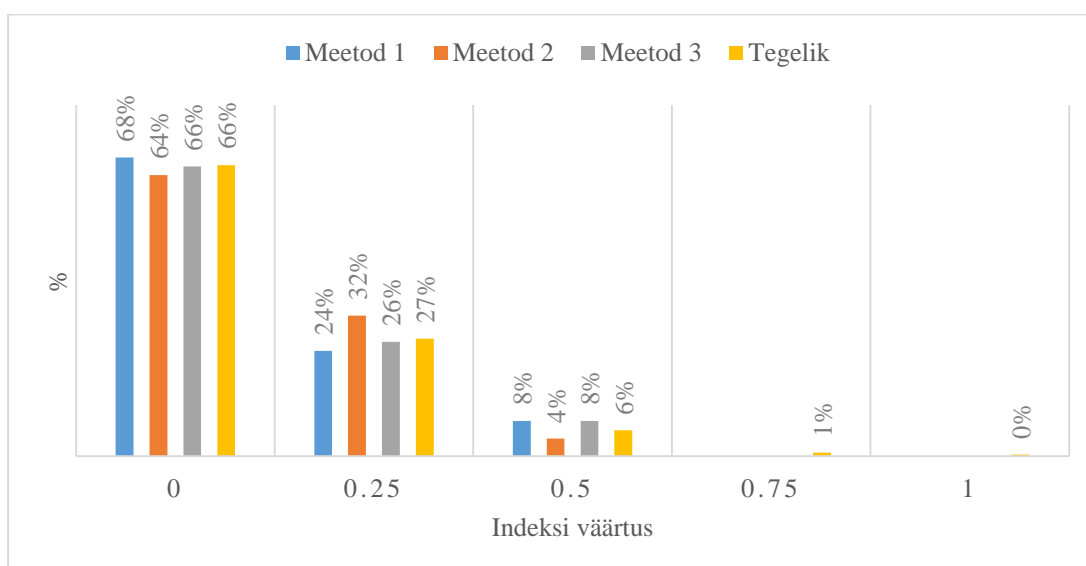
<b>Proovitükk nr.</b>	<b>Tegelik</b>	<b>Meetod 1</b>	<b>Meetod 2</b>	<b>Meetod 3</b>
Männikud				
500	0,03	0,05	0,05	0,03
519	0,05	0,13	0,13	0,05
523	0,05	0,13	0,13	0,18
526	0,15	0,18	0,23	0,03
527	0,04	0,05	0,05	0,03
Aritmeetiline keskmine	0,06	0,11	0,12	0,06
Kaasikud				
568	0,08	0,03	0,05	0,03
546	0,16	0,15	0,13	0,25
547	0,22	0,23	0,15	0,15
551	0,08	0,05	0,13	0,13
572	0,03	0,05	0,05	0,03
Aritmeetiline keskmine	0,11	0,10	0,10	0,12

Erinevalt liigilise mitmekesisuse indeksite puhul saadud tulemustele on männikutes surnud puude segunemise indeksi praktiliselt hinnatud aritmeetilised keskmised väärtused enamjaolt kõrgemad kui tegelikud, kuid kaasikutes saadud tulemused on üpris sarnased tegelikele väärtustele. Ühelgi proovitükil väga suuri erinevusi tegelikega võrreldes ei esine.

Männikutes on näha (joonis 9), et 82% proovitükkides hinnatud puudel ei leidu lähima nelja naabri seas ühtegi surnud puud. Surnud puid esines väga vähe.



**Joonis 9.** Surnud puude segunemise indeksi väärtuste esinemise sagedus (%) erinevate meetodite korral männikutes.



**Joonis 10.** Surnud puude segunemise indeksi väärtuste esinemise sagedus (%) erinevate meetodite korral männikutes.

Kaasikutes on näha (joonis 10), 66 % proovitükkidel asuvatest puudest ei oma lähima nelja naabri seas ühtegi surnud puud ning 6% puudest on pooled naaberpuud surnud.



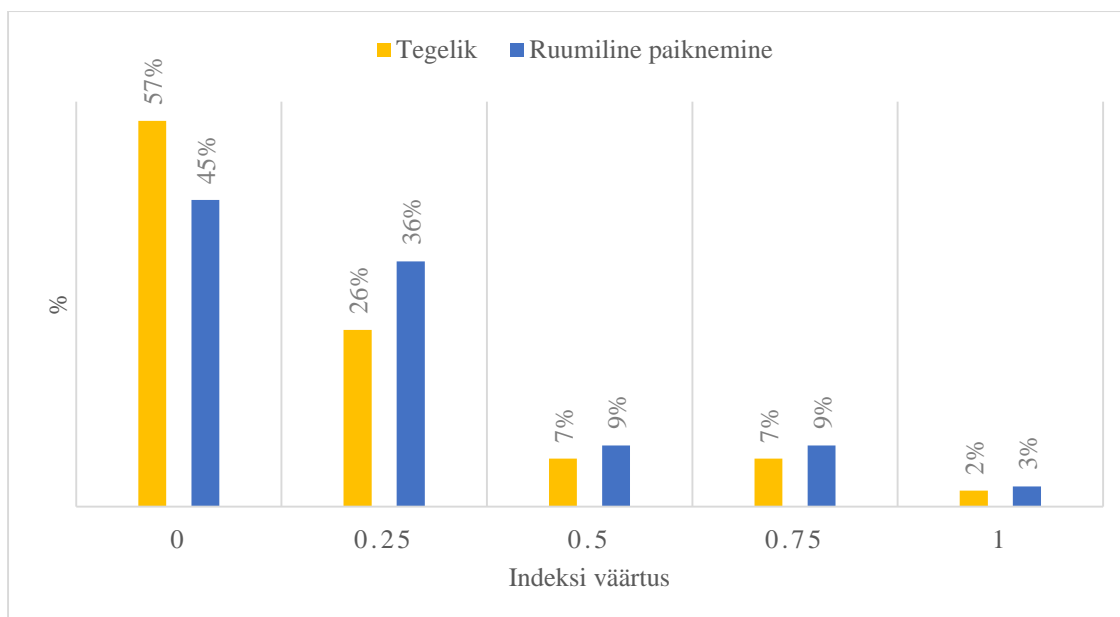
### 3.3. Surnud puude ruumilise paiknemise indeks

Tabelis 8 on välja toodud surnud puude paiknemise indeksi praktiliselt hinnatud väärtused männikute ja kaasikute proovitükkidel. Antud indeksi puhul eri meetodeid ei rakendatud, vaid võeti vaatluse alla kõik proovitükil paiknevad surnud puud.

**Tabel 8.** Praktiliselt hinnatud surnud puude ruumilise paiknemise indeksite väärtused männikutes ja kaasikutes proovitükkide lõikes.

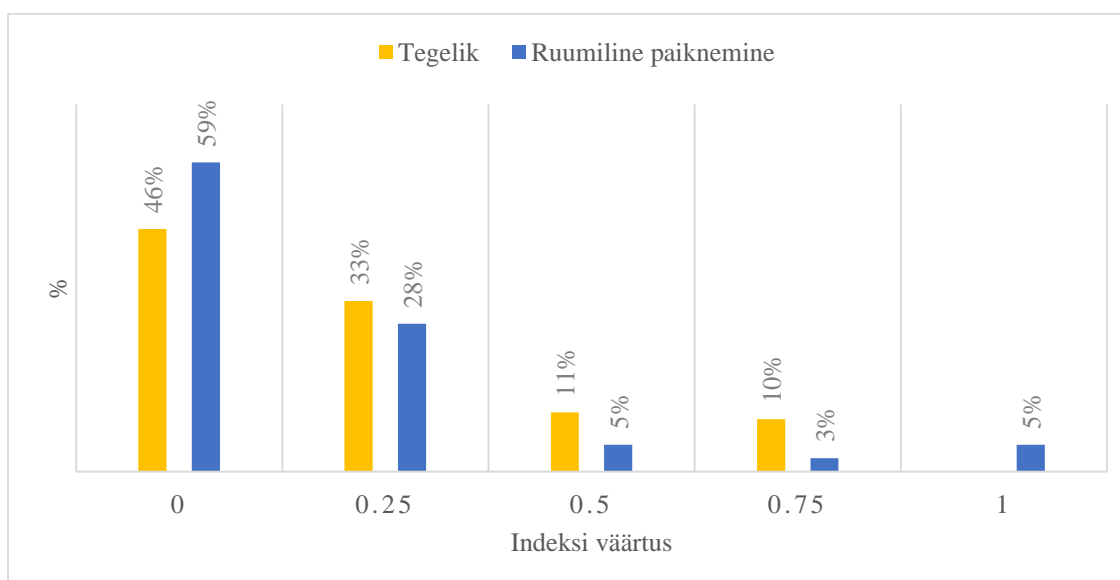
Proovitükk nr.	Tegelik	Praktiliselt hinnatud
Männikud		
500	0	0
519	0	0,1
523	0,09	0,22
526	0,4	0,45
527	0,12	0
Aritmeetiline keskmine	0,12	0,15
Kaasikud		
568	0,12	0,03
546	0,28	0,18
547	0,19	0,15
551	0,25	0,15
572	0	0
Aritmeetiline keskmine	0,17	0,10

Tabelist on näha proovitükkide surnud puude ruumilise paiknemise indeksi tulemuste aritmeetilisi keskmisi ning varasemalt mõõdetud andmetel saadud proovitüki kõigi puude arvutatud indeksite tulemuste aritmeetilist keskmist. Indeksi puhul saab kasutada ainult ühte meetodit, kuna vaatluse alla võeti kõik surnud puud, mis proovitükil paiknesid. Lisaks on tabelis välja toodud männikute ja kaasikute kõikidelt proovitükkidelt saadud tulemuste aritmeetiline keskmine.



**Joonis 11.** Sagedustabelid, kus on välja toodud protsendiliselt puistutes esinenud surnud puude ruumilise paiknemise indeksite väärtused männikutes.

Männikutes esineb 2% proovitükkidel asuvatel puudel grupilist suremist, kus kõik neli naaberpuud on surnud, samas 57% puudest ei oma naaberpuude seas ühtegi surnud puud (joonis 11).



**Joonis 12.** Sagedustabelid, kus on välja toodud protsendiliselt puistutes esinenud surnud puude ruumilise paiknemise indeksite väärtused kaasikutes.

Jooniselt 12 on näha, et 5% vaadeldud puudest kaasikutes esines grupilist suremist, kus kõik neli naaberpuud olid surnud. Töö käigus vaadeldud 59% puudest naaberpuude seas surnud puid ei esinenud.

## 4. ARUTELU

Puistute kirjeldamine naaberpuudel põhinevate struktuuriindeksite abil on aktuaalne teema ning ka Eestis on vastav teadustöö heal tasemel, näiteks sellealane Kobra Maleki (2016) doktoritöö käsitles arukase puistuid. Surnud puude ja lamapuidu näitajate integreerimine metsakorralduse ja metsamajanduse praktikasse võimaldab kaasajal metsade majandamisel nende looduslikkusega paremini arvestada (Doerfler jt 2018; Jõgiste jt 2018). Samas struktuuriindeksite praktiline määramine looduses on suuresti käsitlemata teema.

Bakalaureusetöös kasutatud kolmest struktuuriindeksite praktilise määramise meetodist kahe esimese meetodi puhul (objektpuud on diameetrilt puistu esimese rinde keskmise diameetriga puud ja objektpuud on juhuslikult valitud ainult peapuuliigi puud) on praktiliselt saadud indeksite hinnangute tulemused väga sarnased tegelikele tulemustele (tegelike tulemuste puhul on kõikidele proovitükkidel paiknevatele puudele arvatud tegelikud indeksite väärtused) ning väga suuri erinevusi võrreldes tegelike indeksite väärtustega ei esinenud. Kasutades kolmandat meetodit, kus objektpuudeks on kaaspuuliigi puud, erinesid tulemused tegelikkusest võrreldes teise kahe meetodiga palju rohkem.

Maleki ja Kiviste (2015) hinnangul sõltub liigilise segunemise hinnang suurel määral proovitüki kujust ja suurusest ning eriti ei sõltu puude paiknemise korrapärasusest puistus. Liigilise segunemise indeksi puhul on männikutes hinnatud indeksite väärtused esimese kahe meetodi indeksi puhul kõik süstemaatiliselt madalamad, kuid üsnagi sarnased tegelikele tulemustele. Kaasikutes on liigilise segunemise tulemused täpsemad kui männikutes, kusjuures süstemaatilist erinevust ei esinenud. Kolmandal meetodil saadud tulemused on mõlemat liiki puistutes liialt ebastabiilsed ning ei sobi piisavalt kvaliteetse tulemuse saamiseks. Uurimustöö tulemused olenevad paljuski sellest, missugused objektpuud valida indeksite määramiseks. Puistus, kus puud paiknesid liigiti grupiliselt, näiteks kui kaasikutes esines leppa, ja paju grupiliselt vaheldumisi kasegruppidega, tuli indeksite hindamisel lisaks vaadelda ka puistu üldpilti ning valida objektpuudeks puid, mille naaberpuud ei ole liialt erinevad puistu üldisest koosseisu kirjeldusest.

Surnud puud on oluline metsa struktuuri komponent (Larmann 2014; Tikkanen jt 2006). Nende segunemise indeksi hindamise tulemused männikutes annavad kohati küllaltki suuri erinevusi.

Esimesed kaks meetodit on võrdväärset üksteisele ning kõik saadud väärtused on suuremad kui tegelik väärtus. Kolmas meetod on küll proovitükkide aritmeetilise keskmise põhjal kõige täpsem, kuid mõnel väärtustel esineb endiselt liialt suuri erinevusi. Kaasikutes saadud tulemused kõikide meetodite korral sarnanesid tegelikele väärtustele.

Surnud puude ruumilise paiknemise indeksi väärtused männikutes on valdavalt suuremad kui tegelikud väärtused. Kaasikutes saadud indeksi väärtused on samas aga madalamad kui tegelikud väärtused. Surnud puude indeksite puhul tuleb arvestada sellega, et puude mõõtmised püsiproovitükkidel on tehtud aastal 2016 ning selle ajaga võis uusi puid ära surra ja ka vanu surnud puid maha langeda või murduda.

Töös kasutatud struktuuriindeksid annavad üsnagi hea ülevaate puistu koosseisust ja esitavad lisaks tavalistele puistu takseerandmetele ökoloogilist teavet puistute kohta: puude liigilist segunemist ning elusate ja surnud puude segunemist puistus. Korjus (2002) on välja toonud, et klassikaline metsade kasutamine viib paratamatult nii metsade tüpoloogilise kui ka liigilise koosseisu vaesumisele. Ta lisab, et pikaajalisi metsanduslike prognooside tehakse andmehõive ja andmetöötluse kaudu, kuid elurikkuse uurimisel jääb sageli traditsioonilistest puistu takseertunnustest väheseks.

Struktuuriindeksite praktiline hindamine looduses andis rahuldava tulemuse. Indeksiste väärtuste määramisel andsid paremaid tulemusi esimesed kaks meetodit. Enamasti olid nendel meetoditel saadud tulemused võrdväärset, mis omakorda näitab nende meetodite stabiilsust. Töö autori arvates parim ja lihtsaim viis indeksiste hindamiseks oleks neid kahte meetodit kombineerides valides silma järgi objektpuuks diameetrilt keskmised peapuuliigi puud. Sedaviisi indeksiste hindamine sobib puistu üldise ülevaate saamiseks. Andmed ei pruugi alati olla kõige täpsemad, kuid kindlasti annavad metsaomanikule väärtuslikku lisateavet. Antud uurimistöös kasutatud puistu struktuuriindeksiste hindamise meetod on piisavalt kiire ja odav, et seda saaks integreerida tavapärase metsainventeerimise praktikasse.

## KOKKUVÕTE

Edukaks jätkusuutlikuks metsa majandamiseks on vajalik hästi mõista erinevate metsaökosüsteemide struktuuri ja struktuuris esinevaid mustreid. Metsade struktuuri paremaks mõistmiseks on kasutusele võetud erinevaid struktuurimudeleid ja -indekseid. Struktuuriindekseid on mitmeid ning töös analüüsitud kolm indeksit on vaid väike osa neist: need annavad olulise ülevaate erinevatest keerukatest metsa struktuuri mustritest. Metsaökosüsteemide loodusliku struktuuri ja protsesside analüüs võimaldab vähendada intensiivsest majandamisest tingitud riske.

Majandusmetsades keskendutakse tavaliselt siiski kvaliteetse puidu tootmisele ja raie tegemisele metsa küpsusvanuse saavutamisel ning muud asjaolud jäävad tagaplaanile. Samuti võib kannatada puidu kvaliteet säilitades majandusmetsades mitmekesisuse, kuigi samas rajades monokultuuri tõstetakse kahjurite ilmnemise ohtu. Surnud ja lamavad puud on tähtsaks elupaigaks, toidulauaks ja varjupaigaks paljudele organismidele. Metsa hooldades ja eemaldades sealt vanad ning surnud puud võetakse ühtlasi ära ka mitmete organismide elu võimalikkus puistus. Tuleb teadvustada, et elurikkus peab olema tasakaalus ning kasvõi jättes langile liigilist mitmekesisust tõstvad puid või surnud puitu võib see teha meie keskkonnale suure heateo.

Käesolevas töös saab hea ülevaate uuritud indeksite kasutuskäigust ja uurimise vajalikkusest puistus. Puistu loodusväärtuse üldise hinnangu andmisel jääb traditsioonilistest takseertunnustest väheseks. Töös kasutatud struktuuriindeksid annavad väärtuslikku lisateavet puistu kohta. Töö käigus analüüsitud indeksite praktilisest hindamisest saadud tulemustes esineb palju erinevusi võrreldes andmetega, mis peaksid näitama tegelikke indeksi väärtusi kõigil proovitükil olevate puude kohta. Parimateks hinnatud meetoditeks kujunesid üsnagi võrdväärsete tulemustega kasutades vaadeldava puuna keskmise diameetriga puud ja peapuuliigi puud. Saadud andmete analüüsil käesolevas töös autoril erinevuste põhjuste vahel seoseid luua ei õnnestunud. Kui palju mõjutas saadud tulemusi vaatlusaluste puude valik, väheste puude hindamine või kolmeaastane mõõtmiste vahe jääb käesoleva uurimistööga siiski vaid oletuseks. Seoste loomiseks ja parimate hindamisviiside leidmiseks, et saada täpsemaid



tulemusi, tuleks teemat põhjalikumalt uurima ning teha hindamisi rohkematel aladel. Töö autori arvates on taoline indeksite hindamine metsades hea taskukohane ja kiire viis saamiseks oma puistu kohta ökoloogilist lisateavet ning vajadusel info arvuliseks edastamiseks näiteks keskkonnaagentuurile.

## SUMMARY

### **Assessment of stand structural indices on forest permanent sample plots**

It is necessary to understand the patterns and structure of different forest ecosystems for successful sustainable forest management. Different structural models and indices have been introduced for better understanding of the forest stand structure. The three indices trees (species mingling, deadwood distribution and deadwood mingling index) analyzed in the research are just a small part of them: they provide an important overview of the different complex patterns of forest structure. Analysis of the natural structure and processes of forest ecosystems enables to reduce the risks caused by intensive management.

Economic forests usually focus on producing high-quality timber and cutting down on the maturity of the forest, and other factors remain in the background. Wood quality can also be affected by maintaining the diversity of economic forests, while at the same time creating a monoculture increases the risk of pests. Dead standing and lying trees are important habitats, food sources and shelters for many organisms. Removal of old and dead trees also take advantage of the potential for life of many organisms in the stand. It should be acknowledged that biodiversity must be balanced, and such as even leaving dead wood or trees that increase species diversity on the stand can do a good deed for our environment.

In this research, a good overview of the use of the structural indices studied and the need for research in the stand can be found. The standard forest inventory data is not enough for general assessment of the nature value in the stand. The structural indices used in the research provide valuable additional information about the stand. The results of the practical evaluation of the indices analyzed in this research show many differences compared to the data that should show the actual index values for all trees in the stand. The best methods to evaluate indices turned out to be by using an average diameter reference tree and a reference tree from the main tree species and the results were quite similar to each other. The analysis of the data obtained in this paper did not allow the author to establish connections between the causes of the differences. How much impact on the results caused the choice of trees, not enough valued trees or the three-year difference between the measurements will only be a hypothesis for this

study. In order to create connections and find the best assessment methods to get the most accurate results, the topic should be further explored and assessments carried out in more areas. According to the author of the work, the evaluation of such indices in forests is a good affordable and fast way to obtain additional ecological information about their stands and, if necessary, to provide information to the Environment Agency, for example.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- Burton, P.J., Macdonald, S.E.** (2011). The restorative imperative: assessing objectives, approaches and challenges to restoring naturalness in forests. – *Silva Fennica*. Vol 45, pp. 843–863.
- Doerfler, I., Gossner, M.M., Müller, J., Seibold, S., Weisser, W.W.** (2018). Deadwood enrichment combining integrative and segregative conservation elements enhances biodiversity of multiple taxa in managed forests. – *Biological Conservation*. Vol 228, pp. 70–78.
- Etverk, I., Puura, T., Sørensen, P.** (toim.) (2000). Metsade bioloogilise mitmekesisuse säilitamine. Tartu: Eesti Keskkonnaministeerium ja DANCEE. 48 lk.
- Gadow, K.v.** (1993). Zur Bestandesbeschreibung in der Forsteinrichtung (New variables for describing stands of trees). – *Forst und Holz*. Vol 48, pp. 602–606.
- Gadow, K.v., Hui, G.** (2001). Characterising forest spatial structure and diversity. – *Proceedings of the IUFRO International workshop “Sustainable forestry in temperate regions”*, Lund, Rootsi, pp. 20–30.
- Jõgiste, K., Frelich, L. E., Laarmann, D., Vodde, F., Baders, E., Donis, J., . . . Stanturf, J. A.** (2018). Imprints of management history on hemiboreal forest ecosystems in the Baltic states. – *Ecosphere*. Vol 9, e02503.
- Jõgiste, K., Kuuba, R., Viilma, K., Korjus, H., Kiviste, A., Kalda, A., Parmasto, E., Jüriado, I., Lõhmus, P., Õunap, H.** (2008). Metsade looduslikkuse taastamine. Tartu: Halo kirjastus. 128 lk.
- Kangur, A., Laarmann, D., Hordo, M., Sims, A., Korjus, H., Lilleleht, A., Kiviste, A.** (2013). Kasvukäigu püsiproovitükkide väärtus puistu kasvu kirjeldamisel. – *Eesti Mets*. Nr 4, lk 42–48.
- Keppart, V.** (2006). Säätva metsanduseetsamajanduse alused. Tallinn: Iloprint. 103 lk.
- Keskkonnaagentuur.** (2017). Aastaraamat „Mets 2017“. Tallinn: Keskkonnaagentuur. 929 lk.
- Keskkonnaministeerium.** (2019) Metsastatistika. [<https://www.envir.ee/et/metsastatistika>] (12.04.2019)

- Kimmins, J.P.** (2004). Forest ecology. A Foundation for sustainable forest management and environmental ethics in forestry. Upper Saddle River, N.J.: Prentice-Hall. 611 lk.
- Kiviste, A., Hordo, M.** (2002). Eesti metsa kasvukäigu püsiproovitudükide võrgustik. – *Metsanduslikud uurimused = Forestry studies*. Vol. 37, lk 43–58.
- Kiviste, A., Hordo, M., Kangur, A., Kardakov, A., Laarmann, D., Lilleleht, A., Metslaid, S., Sims, A., Korjus, H.** (2015). Monitoring and modeling of forest ecosystems: the Estonian Network of Forest Research Plots. – *Metsanduslikud uurimused = Forestry studies*. Vol. 62, pp. 26–38.
- Korjus, H.** (2002). Puistu loodusväärtuste inventeerimine. *Metsanduslikud uurimused = Forestry studies*. Vol. 37, lk 59–71.
- Laarmann, D.** (2014). Monitoring and evaluation of forest ecosystem restoration (Metsaökosüsteemi taastamise seire ja analüüs). Doktoritöö. Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 162 lk.
- Laarmann, D., Korjus, H., Sims, A., Stanturf, J., A., Kiviste, A., Köster, K.** (2009). Analysis of forest naturalness and tree mortality patterns in Estonia. – *Forest Ecology and Management*. Vol 258, pp. 187–195.
- Maleki, K.** (2016). Analysis of tree competition and structural indices with a focus on modeling Silver birch (*Betula pendula* Roth.) stands. Doktoritöö. Eesti Maaülikooli metsandus- ja maaehitusinstituut. Tartu. 165 lk.
- Maleki, K., Kiviste, A.** (2009). Proovitüki suuruse ja kuju mõju metsa struktuuriindeksite hinnagutele arukase (*Betula pendula* Roth) enamusega puistus Järveljal. – *Metsanduslikud uurimused = Forestry studies*. Nr 63, lk 130–150.
- McElhinny, C., Gibbons, P., Brack, C., Bauhus, J.** (2005). Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. – *Forest Ecology and Management*. Vol 218, pp. 1–24.
- Morsdorf, F., Mårell, A., Koetz, B., Cassagne, N., Pimont, F., Rigolot, E., Allgöwer, B.** (2010). Discrimination of vegetation strata in multi-layered Mediterranean forest ecosystem using height and intensity information derived from airborne laser scanning. – *Remote Sensing of Environment*. Vol 114, pp. 1403–1415.
- Mõistus, M.** (2013). Puiskoosluste vertikaalse struktuuri hindamine lasermöödistuse abil. Magistritöö. Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut. Tartu. 46 lk.
- Palo, A.** (2016). Eesti metsad. Tallinn: Varrak. 222 lk.
- Perry, D.A., Oren, R., Hart, S.C** (2008). Forest ecosystems – 2nd edition. Baltimore, Maryland: The Johns Hopkins University Press. 632 p.

- Pommerening, A.** (2017). Webblog on Forest Biometrics and Quantitative Ecology – Spatial species mingling. [<http://blogg.slu.se/forest-biometrics/author/arng0001/>] (25.03.2019)
- Pöldveer, E., Korjus, H., Kiviste, A., Kangur, A., Paluots, T., Laarmann, D.** (2019). Assessment of spatial stand structure of hemiboreal conifer dominated forests according to different levels of naturalness (Käsikiri esitatud ajakirjale *Ecological Indicators*).
- Richardson, J.J., Moskal, L.M.** (2011). Strengths and limitations of assessing forest density and spatial configuration with aerial LiDAR. – *Remote Sensing of Environment*. Vol 115, pp. 2640–2651.
- Tikkanen, O.-P., Martikainen, P., Hyvärinen, E., Junninen K., Kouki J.** (2006). Red-listed boreal forest species of Finland: associations with forest structure, tree species, and decaying wood. – *Annales Zoologici Fennici*. Vol 43, pp. 373–383.

**Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Mina, Siim Reimand

sünniaeg 10.01.1992,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud lõputöö

Puistu struktuuriindeksite praktiline hindamine püsiproovitükkidel,

mille juhendajad on Henn Korjus ja Eneli Pöldveer,

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_  
(allkiri)

Tartu, \_\_\_\_\_  
(kuupäev)

---

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri)

\_\_\_\_\_  
(kuupäev)